

N对奥氏体不锈钢0Cr18Ni9N热塑性的影响

王长军^{1,2} 郑文杰² 宋志刚² 蒋业华¹ 季祥民² 丰涵²

(1 昆明理工大学机电工程学院,昆明 650093; 2 钢铁研究总院结构材料研究所,北京 100081)

摘要 采用 Gleeble 1500 热模拟试验机研究了0.008 7% ~ 0.150 0% N对热轧0Cr18Ni9N钢(% : 0.044 ~ 0.049C, 0.41 ~ 0.51Si, 1.46 ~ 1.52Mn, 17.92 ~ 18.15Cr, 9.09 ~ 9.24Ni, 0.01 ~ 0.03Ti)以应变速率 $5 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ 和 1 s^{-1} 在 800 ~ 1300 °C 的拉伸和压缩性能的影响,并分析了 N 含量对该钢动态再结晶性能的影响。结果表明,随着 N 含量的增加,该钢断面收缩率显著下降,同时其最佳热塑性的温度区间提高;当 N 含量低于 0.050 0% 时,最佳热塑性区间为 950 ~ 1100 °C;而当 N 含量为 0.080 0% ~ 0.150 0% 时,则为 1150 ~ 1250 °C。

关键词 奥氏体不锈钢 0Cr18Ni9N N 热塑性 动态再结晶

Influence of N on Thermoplasticity of Austenite Stainless Steel 0Cr18Ni9N

Wang Changjun^{1,2}, Zheng Wenjie², Song Zhigang², Jiang Yehua¹, Ji Xiangmin² and Feng Han²
(1 Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093;
2 Institute for Structural Materials, Central Iron and Steel Research Institute, Beijing 100081)

Abstract The effect of 0.008 7% ~ 0.150 0% N on tensile and compression properties of hot-rolled steel 0Cr18Ni9N (% : 0.044 ~ 0.049C, 0.41 ~ 0.51Si, 1.46 ~ 1.52Mn, 17.92 ~ 18.15Cr, 9.09 ~ 9.24Ni, 0.01 ~ 0.03Ti) with strain rate $5 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ and 1 s^{-1} at 800 ~ 1300 °C has been studied by using Gleeble 1500 thermal simulation machine and the effect of N content on dynamic recrystallization of the steel is analyzed. Results show that with increasing N content in steel the reduction of area of the steel obviously decreases while its optimum temperature range of thermoplasticity increases; as the N content in steel is less than 0.050 0%, the optimum temperature range of thermoplasticity of the steel is 950 ~ 1100 °C, and as N content is 0.080 0% ~ 0.150 0%, that is 1150 ~ 1250 °C.

Material Index Austenite Stainless Steel 0Cr18Ni9N, N, Thermoplasticity, Dynamic Recrystallization

0Cr18Ni9N(304N)是在原 304 不锈钢的基础上减少 S、Mn,添加 N 元素而发展起来的一种含氮的奥氏体不锈钢,添加 N 元素的目的是为了提高钢的强度;研究表明每加入 0.100 0% N 可使铬镍奥氏体不锈钢的室温强度提高 60 ~ 100 MPa^[1],同时 N 还能提高奥氏体不锈钢的耐腐蚀性能,特别是耐局部腐蚀性能,如耐点腐蚀、晶间腐蚀及缝隙腐蚀等^[2,3],是目前应用最广的奥氏体不锈钢之一,主要应用于输酸管道、容器、石油及化工设备等重要领域。

1 试验材料和方法

试验的 5 种 0Cr18Ni9N 奥氏体不锈钢(表 1),均采用 50 kg 的真空感应炉冶炼,原料为纯金属材料,浇铸成 40 kg 钢锭,在 950 ~ 1150 °C 锻造成 45 mm × 45 mm 的方坯后,热轧成 Φ13 mm 圆棒,最后再经过 1050 °C 保温 45 min,水淬。

将固溶态 Φ13 mm 圆棒机加工成 Φ10 mm ×

表 1 试验钢的化学成分/%
Table 1 Chemical composition of test steel / %

试验钢	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Ti	N
1 [#]	0.049	0.51	1.52	0.011	0.011	17.97	9.15	0.01	0.008 7
2 [#]	0.047	0.41	1.51	0.011	0.012	18.15	9.24	0.03	0.041 0
3 [#]	0.045	0.45	1.46	0.010	0.011	17.92	9.19	0.01	0.085 0
4 [#]	0.044	0.48	1.49	0.010	0.011	18.01	9.22	0.01	0.120 0
5 [#]	0.044	0.42	1.47	0.009	0.012	18.07	9.09	0.01	0.150 0

110 mm(两端各有一段长度为 10 mm 的 M10 螺纹)的热拉伸试样和 Φ8 mm × 15 mm 的热压缩试样,在 Gleeble 1500 热模拟试验机上进行热塑性试验。

高温拉伸试验参数:先以 20 °C/s 的速率加热至 1050 °C,保温 30 s,然后以 20 °C/s 的速率(升温或降温)达到试验温度,再保温 30 s,进行热拉伸试验;应变速率为 $5 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ 。高温压缩试验参数基本与热拉伸相同,只是热压后要立刻对试样进行水淬;热压缩变形量 60%,应变速率为 $1 \times 10^0 \text{ s}^{-1}$ 。

2 试验结果及分析

2.1 N 含量对热塑性的影响

由图 1(a) 可见, 在同一温度下, 随着 N 含量的增加, 材料的抗拉强度逐渐升高。在 800 °C 时, 1# 钢 (0.008 7% N) 与 5# 钢 (0.150 0% N) 之间, 材料的抗拉强度增幅最大: 其抗拉强度相差近 70 MPa, 相对强度增幅高达 38. 23%。而在同一 N 含量下, 随着温度的升高, 材料的抗拉强度迅速下降, 不同 N 含量之间的强度差值, 也随着温度的升高而逐渐缩小。如试验温度从 800 ~ 1 100 °C 时, 1# 试样的抗拉强度由 178 MPa 降低至 51 MPa, 而 3# 与 5# 试样的抗拉强度也分别从 214 MPa 与 246 MPa 下降至 56 MPa 与 64 MPa, 当试验温度达到 1 300 °C 时, 5 种钢号的抗拉强度均下降至 24 ~ 26 MPa 之间。

造成这种现象的主要原因是由于氮作为奥氏体

不锈钢的强化元素, 其强化机制主要有两个方面: (1) 氮作为间隙原子而对基体产生的固溶强化; (2) 氮通过晶格并沿位错进行迁移时, 对位错造成了一定的拖曳作用, 从而限制了间隙杂质原子团的 Splintered 位错运动^[4,5]。

随着氮含量的增加, 不仅使钢的断面收缩率下降, 而且使钢获得最大断面收缩率的温度有所提高 (图 1b)。对于 N ≤ 0.05% 的试样 (如 2#), 随着试验温度的升高, 断面收缩率迅速提高, 到达 1 000 °C 时, 断面收缩率达到最大值 88%, 随后断面收缩率逐渐降低。在试验温度区间为 950 ~ 1 100 °C 时, 断面收缩率可以维持 80% 以上, 同时其抗拉强度也可以维持在 120 MPa 以下, 具有良好的热塑性。而对于 N ≥ 0.05% 的试样 (如 4#), 在温度区间为 800 ~ 1 100 °C 时, 断面收缩率基本不变, 随后其断面收缩率随温

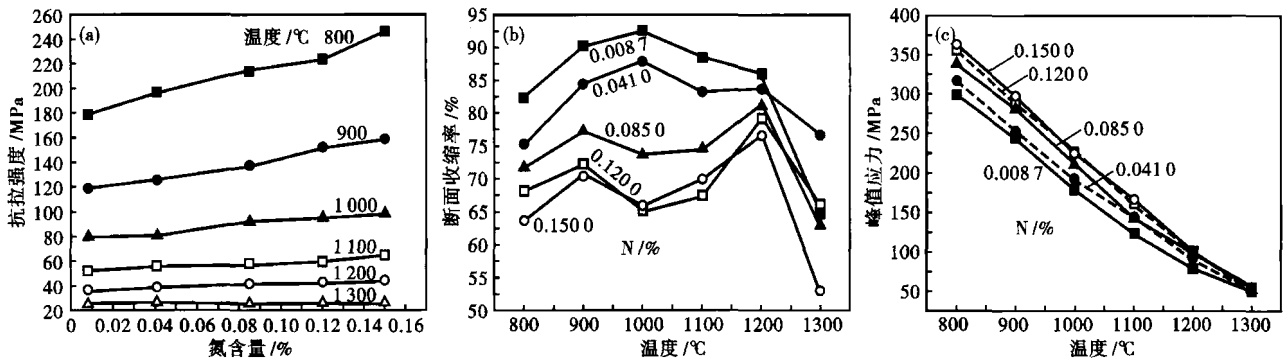


图 1 N 含量和温度对 0Cr18Ni9N 钢抗拉强度 (a)、断面收缩率 (b) 和压缩峰值应力 (c) 的影响

Fig.1 Effect of N content and temperature on tensile strength (a), reduction of area (b) and compressing peak stress of steel 0Cr18Ni9N

度的升高而大幅度提高。当试验温度为 1 200 °C 时, 断面收缩率达到峰值 79%, 随着温度的继续升高, 断面收缩率急剧下降。0Cr18Ni9N 钢最佳热塑性温度区间为 1 150 ~ 1 250 °C。

对于热压缩试样 (图 1c), 0Cr18Ni9N 奥氏体不锈钢的变形抗力与 N 含量的关系具有与热拉伸相似的变化规律: 随着 N 含量的增加, 峰值应力逐渐增大, 同时随着温度的升高, 峰值应力逐渐降低。

2.2 N 含量对高温下真应力-真应变曲线的影响

由图 2(a) 可见, 在同一温度、同一应变速率下, 随着 N 含量的升高, 0Cr18Ni9N 奥氏体不

锈钢的变形抗力逐渐升高; 而对于同一种 N 含量的 0Cr18Ni9N 钢来说 (图 2b), 随着变形温度的升高, 峰值应力逐渐向小应变量的方向移动。这是由于在

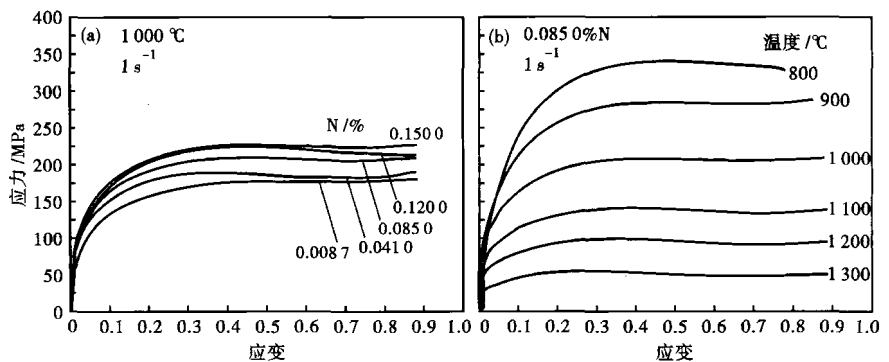


图 2 0Cr18Ni9N 奥氏体不锈钢的真应力-真应变曲线: (a) 1 000 °C, 1 s⁻¹; (b) 0.085 0% N, 1 s⁻¹

Fig.2 Compressive true stress-strain curves of austenite stainless steel 0Cr18Ni9N: (a) 100 0 °C, 1 s⁻¹; (b) 0.085 0% N, 1 s⁻¹

较低温度下变形时,材料的加工硬化率比较高,而变形温度越高,越易于发生奥氏体动态再结晶,使金属得到软化^[6,7],正是由于温度的升高加速了再结晶速率,从而使峰值应力向左移动。

2.3 N 含量对热变形组织的影响及分析

图 3 给出了 1[#] 试验钢 (0.008 7% N) 与 5[#] 试验钢 (0.150 0% N) 热压缩后的组织形貌。由图 3(b) 可见,1[#] 钢在试验温度 1 000 °C 时,就已经完成了奥氏体动态再结晶,而 5[#] 钢 (图 3e) 在此温度下刚刚出现了部分再结晶组织,直到试验温度达到 1 200 °C 时,5[#] 钢才充分完成了动态再结晶过程

(图 3f)。这说明 N 推迟了 0Cr18Ni9N 奥氏体不锈钢的动态再结晶过程,提高了其动态再结晶温度,因此造成了其最佳热塑性温度区间的差异。从图 1(b) 也可以看出,N 对最佳热塑性温度区间的影响。当 N 含量低于 0.050 0% 时,0Cr18Ni9N 奥氏体不锈钢的最佳热塑性区间为 950 ~ 1 100 °C;而当 N 含量为 0.080 0% ~ 0.150 0% 时,其最佳热塑性区间为 1 150 ~ 1 250 °C。

在同一温度及相同的腐蚀条件下,N 含量越高的 0Cr18Ni9N 钢,铬的碳化物越不容易沿晶界产生析出,这主要是由于 N 在奥氏体中的扩散系数高于 C、P、Si 等其他元素^[8],因而在析出过程中 N 会优先在晶界附近偏聚,从而抑制并延缓铬的碳化物析出。N 的加入还会降低铬在奥氏体中的扩散系数,使铬

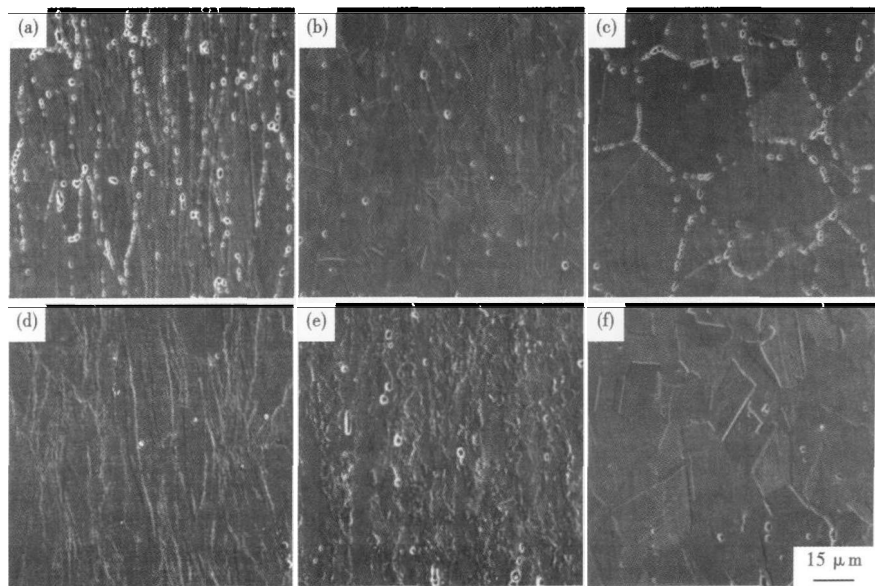


图 3 0Cr18Ni9N 奥氏体不锈钢的变形组织形貌:0.008 7% N, 1 s⁻¹ - (a) 800 °C, (b) 1 000 °C, (c) 1 200 °C; 0.150 0% N, 1 s⁻¹ - (d) 800 °C, (e) 1 000 °C, (f) 1 200 °C

Fig. 3 Deformed structure morphology of austenite stainless steel 0Cr18Ni9N: 0.008 7% N, 1 s⁻¹ - (a) 800 °C; (b) 1 000 °C; (c) 1 200 °C; 0.150 0% N, 1 s⁻¹ - (d) 800 °C; (e) 1 000 °C; (f) 1 200 °C

的扩散减慢,同时降低了 M₂₃C₆ 的晶格参数,增加了界面位错,这些都延缓碳化物的生长动力,阻碍了其形核与长大^[9,10]。

3 结论

(1) 同一温度下,随着 N 含量的提高,0Cr18Ni9N 奥氏体不锈钢的高温强度逐渐升高,800 °C 时抗拉强度增幅最大达 70 MPa,相对强度增幅高达 38.23%。

(2) 0Cr18Ni9N 钢当 N ≤ 0.050 0% 时,最佳热塑性区为 950 ~ 1 100 °C;而 N 为 0.080 0% ~ 0.150 0% 时,最佳热塑性区为 1 150 ~ 1 250 °C。

(3) 0Cr18Ni9N 钢在高温下的软化机制主要为动态再结晶。随着 N 含量的升高,提高了该钢的再结晶温度。

参考文献

- 1 陆世英. 不锈钢. 北京:原子能出版社,1995
- 2 袁志钟,戴起勋,程晓农,等. 氮在奥氏体不锈钢中的作用. 江苏大学学报,2002,23(3):72
- 3 许崇臣,冈毅民,李民保. 氮对高纯奥氏体不锈钢耐晶间腐蚀性能的影响. 腐蚀科学与防护技术,1997,9(3):192
- 4 沈国雄,刘斌. 氮对 304 奥氏体不锈钢组织和力学性能的影响. 钢铁研究学报,1997,9(6):33
- 5 崔大伟,曲选辉,李科. 高氮低镍奥氏体不锈钢的研究进展. 材料导报,2005,19(12):64
- 6 李学锋,董瀚,郑文杰,等. 节镍型双相不锈钢 00Cr21Mn3Ni1N 的热加工性能. 钢铁研究学报,2008,20(1):40
- 7 宋志刚,陈斌,郑文杰,等. 铸态 00Cr22Ni5Mo3N 的热塑性. 钢铁研究学报,2005,17(6):51
- 8 Briant C L. Nitrogen Segregation to Grain Boundaries in Austenitic Stainless Steel. Scripta Metallurgica,1987,21:71
- 9 Baba H, Katada Y. Effect of Nitrogen on Crevice Corrosion in Austenitic Stainless Steel. Corrosion Science,2006,48:2510
- 10 Baba H, Kodama T, Katada Y. Role of Nitrogen on the Corrosion Behavior of Austenitic Stainless Steel. Corrosion Science,2002,44:2393

王长军(1984-),男,硕士研究生,控氮奥氏体不锈钢力学性能和耐蚀性研究。

收稿日期:2009-08-19